

LPG선 Deck Tank부의 구조 안전성 검토를 위한 응력 해석

Stress Analysis to Examine the Structural Safety in the Deck Tank of LPG Carrier

김상일*

* 로이드선급아시아 울산지부

1. 서 론

본 논문에서는 대우조선해양(주)에서 기 건조된 LPG선 deck tank의 열처리 및 수압시험 시 tank와 support의 구조 안전성을 검토하였다. Deck tank는 No.1과 No.2로 두 개인데, 이 중에서 그 크기가 더 크고 support 사이의 간격이 더 넓은 No.2 tank를 해석 모델로 선정하여 후열처리 시의 tank의 변형 양상과 수압시험 중의 tank 자중 및 물의 중량에 의한 tank와 support의 응력 분포에 대한 검토를 수행하였다.

2. 유한요소해석

2.1 유한요소 모델링

후열처리에 대한 해석 모델의 작성은 참고문헌 [1]의 방법과 같으며, 하중/경계조건도 동일하다고 가정하였다. 즉, 용기와 support를 따로 모델링하고 그 사이를 접촉으로 처리하여 실제 현상을 구현하였으며, 용기에 작용하는 하중은 용기의 자중과 용기 내부의 온도로 규정하였고, 용기 내부의 온도는 용기 전체에 걸쳐 균일하게 분포한다고 가정하였다. 먼저 용기에 자중을 가하고 다음으로 온도의 상승, 유지, 냉각 과정을 거치도록 하중 단계를 4단계로 나누었다. 경계조건은 용기의 폭 방향으로 절반만 모

델링하여 대칭면에 대칭조건을 주었으며, support는 수직 방향으로만 구속하고 수평 방향으로는 강성이 없는 spring을 이용하여 자유롭게 미끄러질 수 있도록 하였다. 실제로 용기는 support에 의해서만 지지되지만 초기 접촉 상태에 따라 수치적인 문제를 야기할 수 있기 때문에 이의 방지를 위해 강성이 없는 spring으로 잡아 주어 용기의 강제운동을 막아 수치적인 어려움을 제거하였다.

해석에 사용된 재료 특성치는 참고문헌 [1]과 같은 값을 이용하였다. 즉, 탄소성 응력-변형을 곡선과 creep curve를 주어 후열처리를 하기 전에는 자중에 의한 순수한 탄소성 변형만을 계산하도록 하였고, 후열처리가 수행되는 동안에는 creep에 의한 변형과 탄소성 변형을 동시에 계산하도록 하였다. 유한요소는 압력용기와 같이 두께가 얇고 길이가 긴 구조물에 유용하게 사용할 수 있는 shell 요소를 이용하였다. 해석에 사용된 shell 요소는 4절점 감차적분(four node reduced integration)을 사용하는 S4R5이다. Shell과 saddle support의 접촉면에는 접촉경계조건을 부가하여 실제의 현상을 그대로 반영할 수 있도록 하였다. 그림 1과 2는 대상 모델의 차원 및 유한요소 모델을 보여 주고 있는데, saddle support는 reinforcement ring과 double plate가 시공되어 있는 지점의 하단부에 위치해 있다.

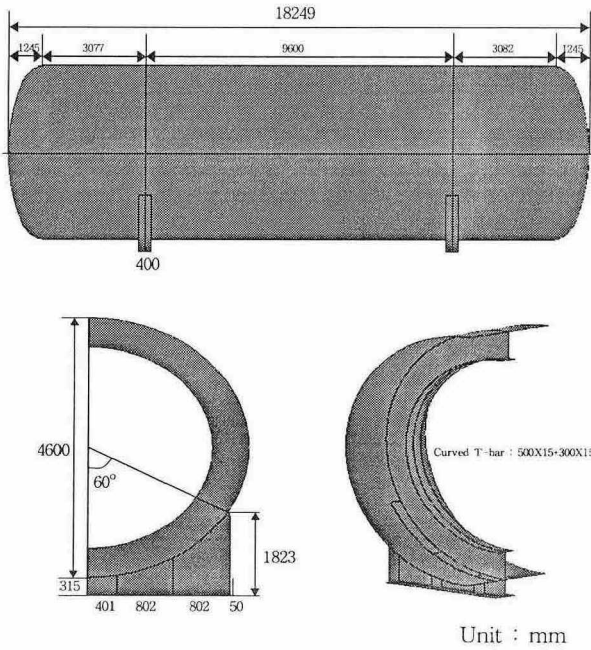


그림 1 대상 모델의 차원

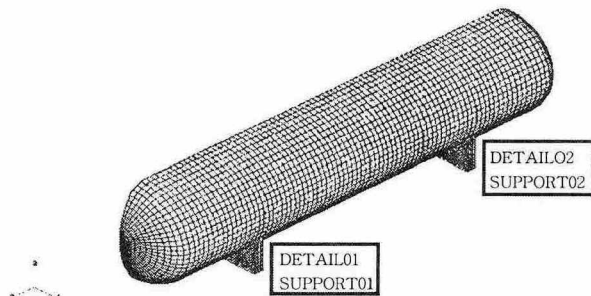


그림 2 대상 모델의 유한요소모델

2.2 온도 및 자중

열처리 시의 온도의 시간 이력은 일반적으로 그림 3에 보인 바와 같다. 열처리 시에 유의해서 관리되는 것은 가열속도(A~B), 유지온도(b), 유지시간(B~C), 냉각속도(C~D), 관리온도(a) 등이며, 대상 모델인 deck tank No.2의 열처리 사양은 표 1에 보인 바와 같다.

자중은 용기와 saddle support를 이루는 재료의 밀도에 중력가속도를 곱하여 계산하였다.

표 1 Deck tank No. 2의 열처리 사양

관리온도 (°C)	가열속도 (°C/hr Max.)	유지온도 (°C Min.)	유지시간 (min Min.)	냉각속도 (°C/hr Max.)
400	130	600	101	166

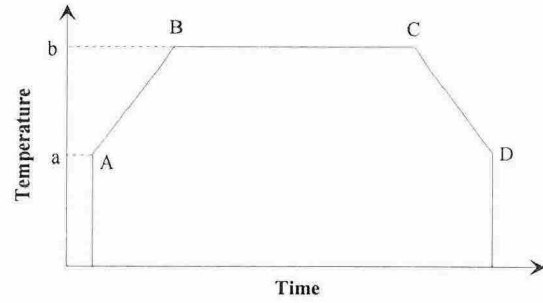


그림 3 열처리 시의 온도의 시간 이력

2.3 해석 결과

그림 4는 대상 모델의 3차원 변형 contour를 보여 주고 있으며, 표 2는 하중 단계 별 용기의 수직방향으로의 직경 변화량을 나타낸다. 여기서 +부호는 위 방향으로의 변위를 -부호는 아래방향으로의 변위를 나타내고, 직경 변화량에서 -부호는 직경이 줄어들음을 +부호는 직경이 늘어남을 나타낸다. 초기에 자중을 받은 상황에서 용기의 수직 방향 직경이 약 0.3mm 정도 줄어들었다가 온도가 상승하면서 열팽창이 일어나 수직 방향 직경이 약 42mm 정도로 늘어나게 된다. 이후 온도가 상온으로 떨어지면서 다시 약 0.5mm 정도로 직경이 줄어들게 된다. 즉, 초기에 약 0.3mm 정도였던 수직 방향으로의 직경 변화량이 고온에서의 영구변형 때문에 0.5mm 정도로 직경이 더 줄어들음을 알 수 있다. 이때의 최종적인 변형량(0.5mm)은 용기의 수직 방향으로의 변형 tolerance(35mm)에 비해 매우 작기 때문에, bracing pipe와 같은 추가적인 구조 보강 없이도 후열처리가 가능할 것이라 생각된다.

그림 5는 대상 모델의 수직 방향으로의 creep strain의 분포를 보여 주고 있는데, creep strain의 값은 saddle support가 위치한 부분에서 가장 높게 나타난다는 사실을 알 수 있으며, 이는 국부적인 최종 변형도를 유발하게 된다. 그림 6은 대상 모델의 수직 방향으로의 응력 분포를 보여 주고 있는데, saddle support 근방에서의 응력 값이 가장 높게 나타나기는 하지만, 그 응력 수준은 매우 낮다는 사실을 확인할 수 있다. 이는 그림 5에 보인 creep strain의 분포와도 유사함을 알 수 있다.

그림 7은 수압시험 중 용기 내부에 27bar (0.28kgf/mm²)의 유체 압력과 tank 자중 및 물의 중량이 동시에 작용하는 경우에 대상 모델의 DETAIL01부와 SUPPORT01부에서 발생하는 등가응력 분포를 보여 주고 있는데, SUPPORT01부에서 발생하는 응

력 수준은 최대 9.38kgf/mm²으로 그리 높지 않다. 따라서 설계된 saddle support는 구조 강도 측면에서 아무런 문제가 없을 것으로 여겨진다.

표 2 하중 단계 별 용기의 수직 방향으로의 직경 변화량(단위 : mm)

POSITION	GRAVITY	HEATING	HOLDING	COOLING
TOP	-0.36	45.22	45.02	-0.53
BOTTOM	-0.02	2.87	2.82	-0.01
DIA. CHANGE	-0.34	42.35	42.20	-0.52

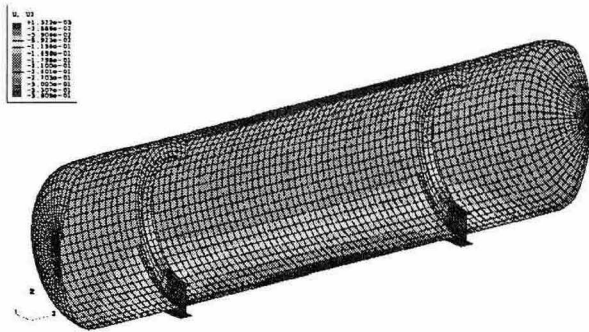


그림 4 대상 모델의 3차원 변형 contour

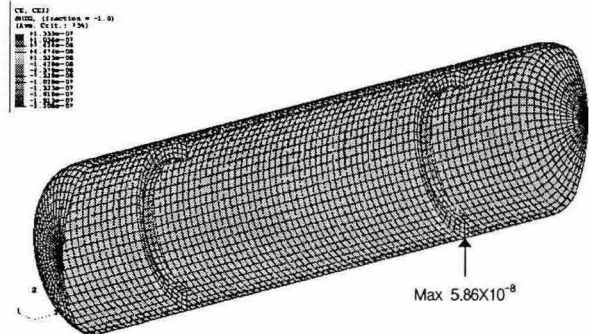


그림 5 대상 모델의 수직 방향으로의 creep strain 분포

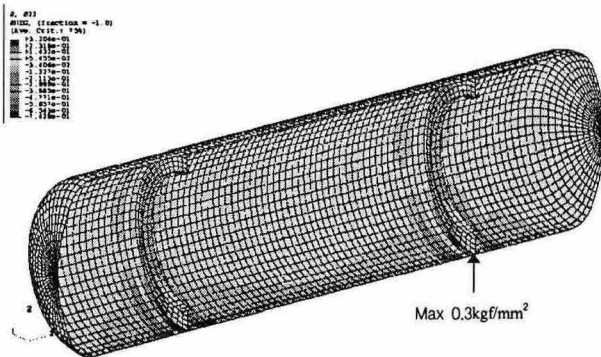
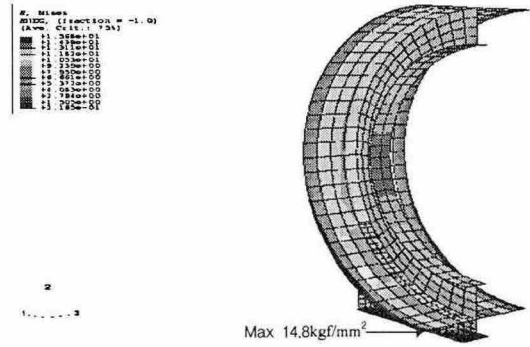
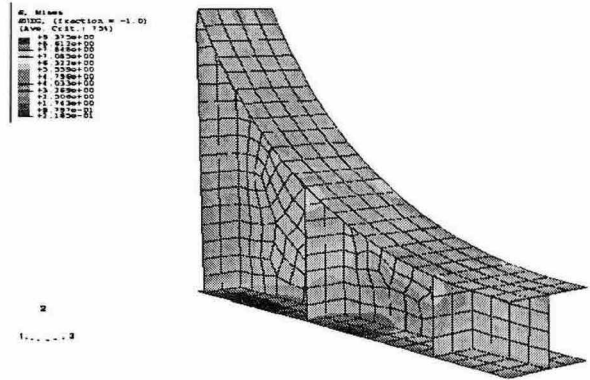


그림 6 대상 모델의 수직 방향으로의 응력 분포



(a) DETAIL01부



(b) SUPPORTL01부

그림 7 대상 모델의 등가응력 분포 : 유체 압력과 자중이 동시에 작용하는 경우

3. 결 론

대우조선해양(주)에서 기 건조된 LPG선의 deck tank No.1과 No.2는 이전에 제작된 압력용기들에 비해 직경이 상대적으로 작아 후열처리 시의 변형에 있어서는 훨씬 안정적이라 할 수 있다. 이를 확인하기 위해 본 연구에서는 그 크기가 더 크고 support 사이의 간격이 더 넓은 No.2 tank를 해석 모델로 선정하여 PWHT 시의 변형량을 검토하였고, 그 결과 용기의 최종적인 변형량(0.5mm)은 용기의 수직 방향으로의 변형 tolerance(35mm)에 비해 매우 작기 때문에, bracing pipe와 같은 추가적인 구조 보강 없이도 후열처리가 가능할 것이라 사료된다.

또한, 수압시험 시의 saddle support의 구조 안전성을 검토한 결과, 설계된 saddle support는 구조 강도 상으로 안전함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 한종만, 조용관, 강중규, 한명수, 김광석, 김유일 : 대우중공업(주) 선박해양기술연구소 기술 보고서